

O grande manancial do Cone Sul

GERÔNCIO ALBUQUERQUE ROCHA

O CONE SUL abriga na bacia sedimentar do Paraná um enorme reservatório de águas subterrâneas de 1,2 milhões de km² – denominado Aquífero Guarani (1) –, que se estende pelos territórios do Brasil (840 mil km²), do Uruguai (58.500 km²), da Argentina (355 mil km²) e do Paraguai (58.500 km²), área equivalente à dos territórios de Inglaterra, França e Espanha, juntos (figura 1).

Esse manancial dispõe de um volume aproveitável de água da ordem de 40 km³/ano, 30 vezes superior à demanda por água de toda a população existente em sua área de ocorrência, cerca de 15 milhões de habitantes. Os recursos hídricos são em geral de excelente qualidade e prestam-se para todos os fins em quase toda a área. Atualmente, a maior parte da água extraída é utilizada no abastecimento público de centenas de cidades de médio e grande portes, por meio de poços de profundidade variada.

Há 30 anos o aquífero era praticamente desconhecido, a ponto de receber apenas uma menção, de passagem, quando uma equipe técnica da OEA elaborou o relatório que serviu de base para o plano de aproveitamento integral da Bacia do Prata (1969). A partir dos anos 70, especialmente na porção brasileira da bacia (São Paulo), teve início um surto exploratório; hoje em dia o aquífero é explotado com maior intensidade (mais de dois mil poços) nas bordas da bacia, a profundidades de 100 a 300 m, e por algumas centenas de poços em áreas mais profundas, entre 500 e 1.500 m. Em decorrência de tal fato, houve notável avanço da tecnologia de perfuração de poços profundos (especialmente no Brasil e na Argentina) mas, por falta de políticas governamentais, o reservatório vem sendo explotado de maneira desordenada. A persistir tal situação, problemas de sobreexplotação localizada ou de contaminação a partir das bordas da bacia em áreas urbanizadas poderão comprometê-lo.

A valorização dos recursos hídricos subterrâneos do Aquífero Guarani pode fazer parte de uma estratégia de aproveitamento dos recursos hídricos totais para a região do Cone Sul, com funções diferenciadas. As águas superficiais (rios Paraná e Uruguai) continuariam tendo por função principal o aproveitamento para navegação, irrigação e energia hidrelétrica. As águas subterrâneas seriam utilizadas preferencialmente para o abastecimento das populações. De qualquer forma, ressalta a necessidade de um programa específico de desenvolvimento das potencialidades do manancial e a conseqüente integração dos organismos e entidades dos países da região, também para esse fim.

Neste trabalho são descritas sumariamente as características do manancial; a seguir, indicadas diretrizes e projetos básicos para uma política de desenvolvimento dos recursos hídricos subterrâneos e propostos mecanismos e arranjos institucionais que, se postos em prática, poderão ajudar a tecer um esquema de cooperação internacional e nacional, entre estados vizinhos, com vistas a iniciar um processo participativo de gestão dos recursos hídricos da região.

As possibilidades de cooperação tecnológica e econômica abertas pelo Mercosul permitem a inserção de tal programa na agenda das deliberações políticas. Afinal, trata-se do aproveitamento de um bem comum que a Natureza legou aos países irmãos, sem fronteiras.

O manancial

Geologia

O Aquífero Guarani é um pacote de camadas arenosas que se depositaram na bacia sedimentar do Paraná ao longo do Mesozóico (períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo Inferior) – entre 200 e 132 milhões de anos – constituído pelas formações geológicas Pirambóia (Buena Vista, no Uruguai) e Botucatu (Misiones, no Paraguai; Tacuarembó no Uruguai e na Argentina).

No passado geológico (era paleozóica) a bacia do Paraná esteve sob influência da invasão do mar, de glaciação e de esforços tectônicos. Em distintos períodos foram depositadas seqüências de estratos e camadas de sedimentos finos (argilas, siltes, calcários) com centenas de metros de espessura. A partir do Triássico, o mar regrediu e não mais retornou. Em ambiente continental, rios e lagos se formaram e o clima foi se transformando até se tornar inteiramente desértico. Foi nessa época que ocorreu novo ciclo de sedimentação: na base da seqüência depositaram-se sedimentos arenosos, argilosos, lacustrinos, fluviais e eólicos (formação Pirambóia); então, o clima tornou-se mais severo e toda a região transformou-se num imenso deserto, com deposição de arenitos eólicos em sucessivos campos de dunas (formação Botucatu), constituindo uma topografia suave, semelhante ao atual deserto do Saara (2).

Os arenitos Botucatu são de granulação fina (diâmetro médio dos grãos de 0,18 mm), com grãos quartzosos bem arredondados e teor de argila inferior a 10%. As sucessivas camadas de dunas são estratificadas de forma assimétrica e formam um pacote de 150 m de espessura média. Já os arenitos Pirambóia são de granulação muito fina (diâmetro médio dos grãos de 0,12 mm) e apresentam, do topo para a base, teores de argila acima de 20%. Em âmbito regional, o terço superior da formação, com espessura da ordem de 100 m, tem características hidráulicas similares às da formação Botucatu e, em conjunto, constituem o Aquífero Guarani.

No início do período Cretáceo, quando ainda prevaleciam condições desérticas, a bacia do Paraná foi afetada por intenso vulcanismo: sucessivos derrames de lavas basálticas recobriram quase todo o deserto Botucatu, chegando a atingir cerca de 1.500 m de espessura em algumas áreas. O vulcanismo foi acom-

panhado por perturbações tectônicas na bacia, gerando extensos falhamentos, soerguimento das bordas e arqueamentos que marcam sua estrutura atual (figura 2).

Durante o Cretáceo Superior, já em clima semi-árido, depositaram-se sobre os basaltos seqüências de arenitos calcíferos (Grupos Caiuá e Bauru) na porção setentrional da bacia. Eles constituem uma sobrecapa do pacote confinante do Aquífero, na escala regional.

A arquitetura do pacote sedimentar que constitui o Aquífero Guarani é resultante da possança dos derrames de lavas basálticas sobre ele depositados; da ativação de falhamentos e arqueamentos regionais; do soerguimento das bordas da bacia sedimentar do Paraná. Em subsuperfície, há uma profunda calha central de direção nordeste-sudoeste, praticamente coincidente com os atuais cursos dos rios Paraná e baixo Uruguai, para onde mergulham suavemente as camadas de arenitos a partir das bordas leste e oeste. Ao longo dessa calha central há, pelo menos, quatro depressões (baixos estruturais) nas quais a profundidade do topo do Aquífero encontra-se a mais de 800 m abaixo do nível do mar, correspondentes às regiões de Fernandópolis, Presidente Prudente-Cuiabá Paulista (São Paulo), Alto Piquiri (Paraná) e Entre Rios (Argentina) (3).

Ocorrência e circulação das águas

O Aquífero Guarani, como já mencionado, estende-se por uma área de 1.200 mil km² na bacia do Paraná. Aproximadamente 2/3 de sua área de ocorrência situam-se na porção brasileira, abrangendo partes dos estados Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul; 1/3 do manancial ocorre em regiões do Paraguai, do Uruguai e da Argentina.

O reservatório assenta-se sobre rochas sedimentares do Paleozóico, de baixa permeabilidade e, em alguns locais, sobre rochas mais antigas do embasamento cristalino. Cerca de 90% da área estão recobertos por espessos derrames de lavas basálticas, o que lhe confere características típicas de um aquífero regional confinado. Nas bordas leste e oeste da bacia, faixas alongadas do pacote sedimentar afloram à superfície (em virtude do soerguimento pretérito e da erosão), constituindo áreas de recarga do Aquífero (figura 2) (4).

A partir das áreas de recarga direta a leste e a oeste, as águas de chuva que alimentam o Aquífero confluem para a calha da bacia nos quadrantes nordeste, noroeste e sudeste, com uma resultante regional de sentido nordeste-sudoeste até a zona de descarga presumidamente situada na região de Entre Rios, Argentina.

O confinamento do Aquífero impõe condição de artesianismo (água sob pressão) em quase toda a área, a partir de algumas dezenas de quilômetros de distância dos afloramentos. Tal fato, associado às descontinuidades estruturais da bacia (falhamentos, arqueamentos), tem conseqüências importantes no funcionamento hidráulico do Aquífero. A linha piezométrica virtual – correspondente à altitude de 450 m (figura 2) aproximadamente –, delimita o domínio de artesianismo surgente: nas planícies e vales onde as cotas topográficas forem inferiores a esta altitude, os níveis de água do Aquífero estarão acima da superfície ensejando fluxos

verticais ascendentes. Já nas áreas com topografia mais acentuada, acima dessa altitude, os níveis d'água do pacote confinante são mais elevados que os do Aquífero favorecendo fluxos verticais descendentes (figura 2).

As características hidráulicas do Aquífero confinado – obtidas de ensaios em poços representativos – no quadrante nordeste da bacia (São Paulo) indicam valores médios do coeficiente de permeabilidade da ordem de 3 m/dia e coeficiente de armazenamento situados entre 10^{-4} e 10^{-6} . A porosidade eficaz, estimada com base em análises granulométricas, varia de 15 a 20%. A velocidade de circulação das águas é muito baixa, variando de 0,75 a 0,50 cm/dia no sentido regional do fluxo.

Reservas e potencial explotável

No quadro 1 são resumidos os principais parâmetros que, associados ao balanço hídrico das bacias hidrográficas da região, permitiram uma estimativa preliminar dos volumes de água estocados no reservatório subterrâneo (5).

As reservas de água acumuladas ao longo do tempo são da ordem de 37 mil km^3 e correspondem à somatória do volume de água de saturação do Aquífero mais o volume de água sob pressão. São as reservas permanentes.

As reservas ativas (ou reguladoras) do Aquífero correspondem à recarga natural (média plurianual) e foram calculadas em 160 km^3/ano ou 5 mil m^3/s , representando o potencial renovável de água que circula no Aquífero. A recarga natural ocorre segundo dois mecanismos: por meio de infiltração direta das águas de chuva na área de afloramento; e, de forma retardada, em parte da área de confinamento, por filtração vertical (drenança) ao longo de descontinuidades das rochas do pacote confinante, onde a carga piezométrica favorece os fluxos descendentes (figura 2).

Todavia, nem toda a reserva renovável pode ser explotada porque:

- os poços de extração devem ter um distanciamento mínimo, da ordem de alguns quilômetros;
- as interferências entre os poços se propagam a grandes distâncias sob condições de confinamento;
- os grandes rebaixamentos do nível d'água devem ser evitados em baterias de poços, a fim de não provocar perturbações indesejáveis em todo o sistema hidrológico.

Para efeito de planejamento, é estabelecido um índice de referência para o potencial explotável do Aquífero, correspondente a uma parcela da reserva ativa, no caso 25%. O volume de água disponível para exploração é, pois, da ordem de 40 km^3/ano .

Como ordem de grandeza, tal potencial corresponderia a cerca de 30 vezes a demanda total de água dos 15 milhões de habitantes da região de ocorrência do manancial.

Quadro 1
Dimensões, índices hidrológicos e reservas do Aquífero Guarani
(valores médios)

Dimensões	
• área total	1.150.000 km ²
• área de recarga	150.000 km ²
• área confinada	1.000.000 km ²
• espessura média	250 m
Índices hidrológicos	
• chuva média	1.500 mm
• recarga natural	160 km ³ /ano
• permeabilidade	3 m/dia
• porosidade eficaz	15%
• coeficiente de armazenamento	10 ⁻⁴
Reservas	
• volume estocado	37.000 km ³
• reserva ativa	160 km ³ /ano
• potencial explotável	40 Km ³ /ano

Qualidade das águas (6)

As águas subterrâneas do Aquífero Guarani em geral são fracamente salinas, com teor de resíduo seco inferior a 300 mg/l em sua maior parte. A partir das áreas de recarga em direção à calha da bacia, há tendência à alcalinização das águas no sentido do fluxo subterrâneo, acompanhada pelo aumento gradual do teor salino, do pH e da temperatura. Essa evolução hidroquímica regional é comandada por grau de confinamento do Aquífero, velocidade de circulação e tempo de residência das águas.

Na área de recarga e ao longo de uma faixa de cerca de 60 km a ela adjacente, as águas são bicarbonatadas cálcicas e cálcico-magnesianas, com teores de resíduo seco inferiores a 200 mg/l e pH ácido inferior a 7. Já na zona francamente confinada do Aquífero as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas evoluindo para clo-ro-sulfatadas sódicas junto à calha da bacia; o pH é alcalino e os valores de resíduo seco variam de 200 a 600 mg/l. A temperatura das águas aumenta gradativamente das áreas de recarga para a calha da bacia em função do grau geotérmico natural de 1°C/35 m. Medidas efetuadas na boca dos poços indicam valores de 22 a 25°C nos afloramentos, de 25 a 30°C na faixa adjacente de baixo confinamento e de 30 a 63°C na maior parte da área.

Tal padrão geral de comportamento da geoquímica das águas é alterado localmente pela ocorrência de água com teores excessivos de fluoreto, em alguns casos 10 vezes maiores do que o teor padrão de 1 a 1,2 mg/l, como em Londrina e Presidente Prudente. Localizam-se em domínios de águas mais salinas e, provavelmente, estão associados a anomalias estruturais.

As águas subterrâneas (a exceção dessas áreas anômalas mais profundas) apresentam excelente potabilidade e são adequadas para múltiplos usos.

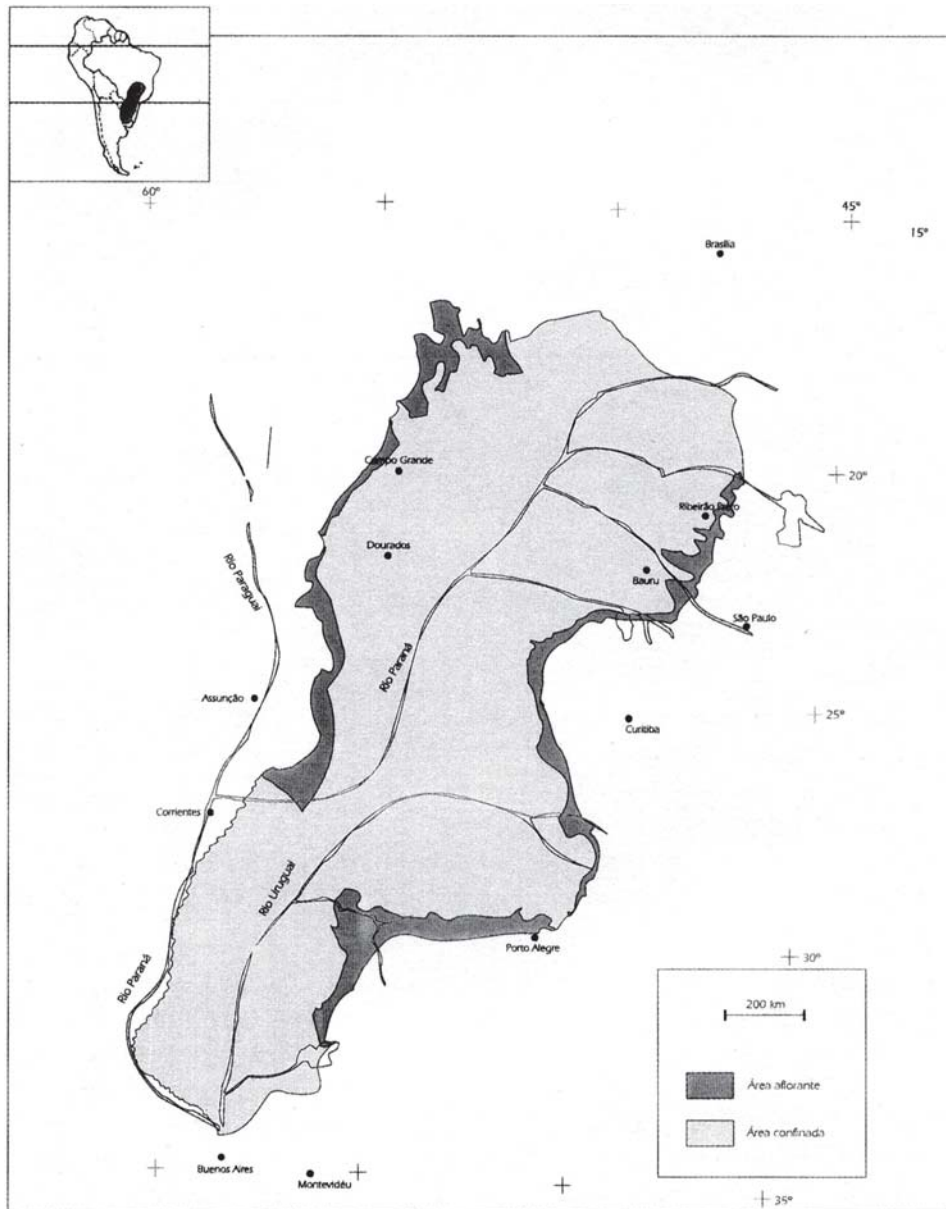


Figura 1:
Área de ocorrência do reservatório Aquífero Guaraní na Bacia do Paraná, Cone Sul.

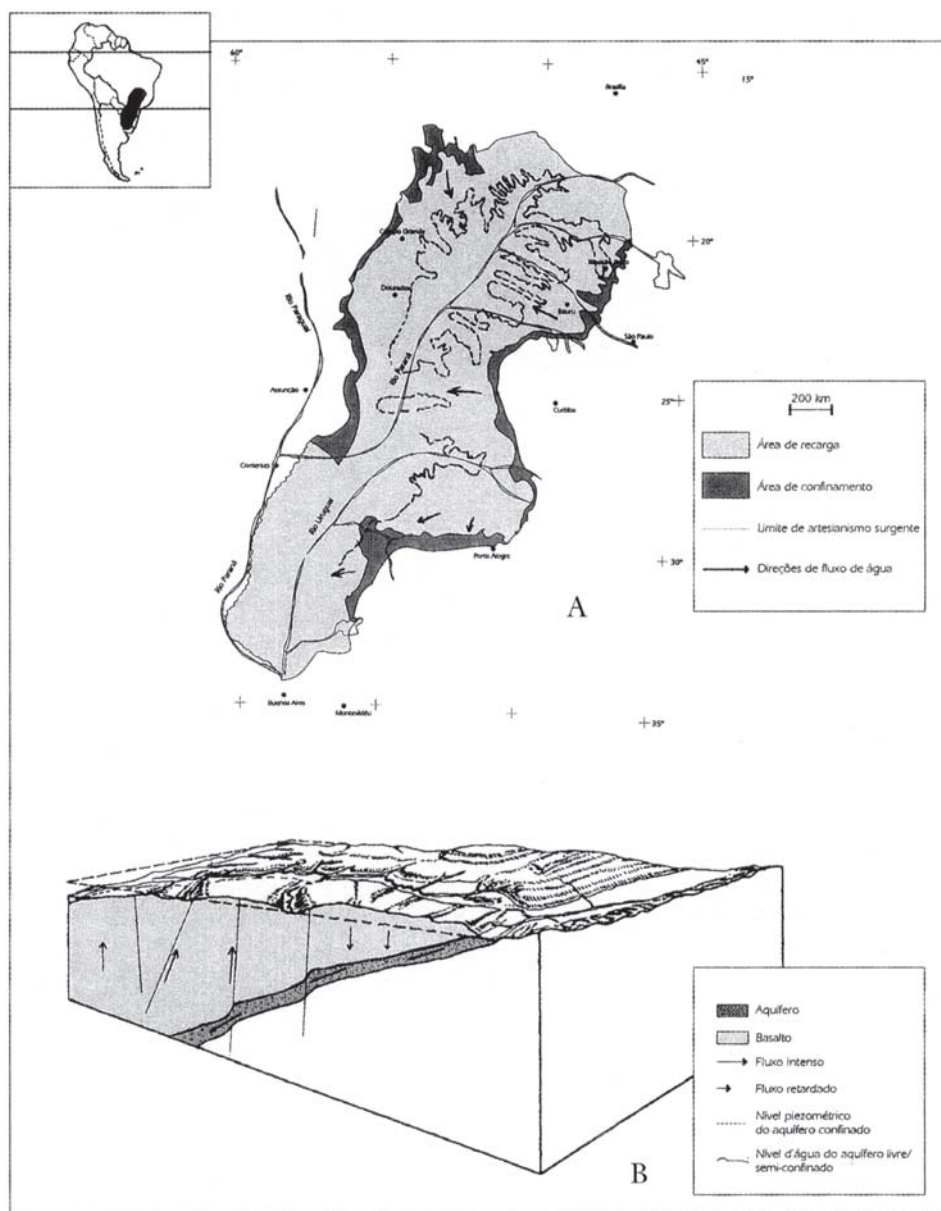


Figura 2: Hidráulica do reservatório Agüífero Guarani, no Cone Sul
A: Recarga e direções de fluxo de água (Rebouças, 1976)
B: Modelo Hidráulico (DAEE, 1979)

Bases de desenvolvimento

A dimensão e importância econômica do Aquífero Guarani requerem ampla articulação entre as instituições dos países abrangidos, com vistas a uma política comum de desenvolvimento do potencial de águas subterrâneas. Na falta dessa política a exploração dos recursos hídricos tende a se manter descontrolada e imediatista, sem ampliar os benefícios econômicos e sociais de um projeto abrangente.

Pesquisa e conhecimento

O nível de conhecimento do Aquífero, no âmbito de toda a bacia, é ainda fragmentado e insuficiente, com cerca de 20 anos de atraso em relação ao primeiro surto exploratório de águas. Graças às companhias de petróleo e empresas de perfuração de poços de água, as características físicas do reservatório (dimensões, espessuras, profundidades) tornaram-se razoavelmente conhecidas. Todavia, os estudos das condições da hidrologia subterrânea (recarga, descarga, dinâmica de fluxos) são insuficientes, o que impossibilita a avaliação fidedigna das reservas do Aquífero. Quanto à composição química das águas e sua variação espacial, os estudos realizados no nordeste da bacia (São Paulo) permitiram adequada caracterização, mas faltam ainda subsídios sobre as demais regiões.

De modo geral, o principal investimento humano no campo de estudos e pesquisas deve ser canalizado para a elaboração do Mapa de Recursos Hídricos do Aquífero Guarani, em escala adequada e respectivo banco de dados de poços. O projeto representa a integração do conhecimento existente, dotando a região de uma base de referência para o prosseguimento de estudos específicos em áreas de interesse. Sua execução, em vista da grande área de abrangência, requer a promoção de um acordo entre os sistemas estaduais e federais dos países-membros, com vistas à adoção de normas técnicas unificadas.

Outra linha de estudos e pesquisas diz respeito à identificação e zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de teores excessivos de fluoreto nas águas, que impedem o seu uso para abastecimento público. As investigações já realizadas (São Paulo e Paraná) apontam para uma conjunção de fatores determinantes dessas anomalias: ocorrência associada a águas mais salinizadas nas partes mais profundas do Aquífero; remobilização de fluoreto a partir dos sedimentos paleozóicos e ascensão de fluidos enriquecidos em zonas de fraqueza resultantes do tectonismo da bacia. É importante prosseguir com tais estudos, de modo a circunscrever as áreas potencialmente afetadas e, assim, orientar a exploração.

Uma terceira linha de pesquisa está relacionada aos mecanismos de descarga do Aquífero. A superfície piezométrica mostra acentuada diferença de carga no extremo sudoeste da bacia, na região pantanosa de Entre Rios, sugerindo que ali devem ocorrer descargas importantes; por outro lado, mostra algumas zonas de despressurização do Aquífero, que têm sido explicadas por fluxos ascensionais ao longo de falhamentos profundos cuja descarga alimentaria o rio Paraná. Estudos interdisciplinares (sensoriamento remoto, hidroquímica, hidrologia superficial), associados à geologia estrutural (falhamentos), poderão elucidar os mecanismos e as áreas de descarga, contribuindo para o melhor conhecimento das condições de circulação e renovação das águas e para a elaboração do balanço hídrico.

Tecnologia e custos de poços

A exploração do Aquífero por meio de poços apresenta sucesso quando são considerados, ao mesmo tempo, dois requisitos básicos: o conhecimento local da estrutura geológica e a capacitação tecnológica de perfuração.

A escolha de sítios adequados deve levar em conta, em primeiro lugar, a topografia: em grande parte da área confinada os níveis d'água encontram-se em altitudes inferiores a 500 m; com base em mapas topográficos em escala adequada (1:50.000, por exemplo) os poços podem ser locados de modo a se obter níveis d'água próximos à superfície, facilitando as condições de bombeamento e a produtividade.

O conhecimento da estrutura geológica local é outro requisito fundamental. Os mapas geológicos existentes permitem, na maioria das situações, conhecer as espessuras do pacote confinante (basaltos e arenitos cretácicos) de modo a se estimar, com pequena margem de erro, a profundidade total do poço. Há situações, porém, em que as perturbações tectônicas exigem estudos mais detalhados.

Até pouco tempo, contudo, as maiores dificuldades de exploração do Aquífero estiveram associadas à tecnologia de perfuração, compreendendo:

- capacidade das máquinas para perfurar grandes espessuras de rocha dura (basalto) com diâmetros adequados;
- dificuldade em promover o alargamento da perfuração no Aquífero a grande profundidade;
- ao mesmo tempo, neutralizar as pressões de artesianismo, o que exige especial habilidade dos sondadores.

Atualmente tais limitações foram superadas por várias empresas de perfuração, embora ainda ocorram casos de poços mal executados. Na figura 3 representa-se um projeto típico de poço de exploração do Aquífero profundo.

As vazões de poços bem construídos variam em função da posição e das características do Aquífero no local (espessura, granulometria, parâmetros hidráulicos). Em âmbito regional, a ordem de grandeza das vazões de poços é de aproximadamente 60 a 200 m³/h, nas áreas de afloramento e faixa adjacente de fraco confinamento; 200 a 400 m³/h nas áreas de maior confinamento.

Em algumas áreas de artesianismo surgente podem ser obtidas vazões ainda maiores: 400 a 600 m³/h. Os valores médios de capacidade específica de poços que penetram todo Aquífero (cerca de 200 m de espessura) são da ordem de 10 m³/h/m.

Os custos dos poços variam de acordo com a profundidade e os diâmetros de perfuração, mas dependem sobretudo da espessura de rocha basáltica a ser penetrada. No quadro 2, com base em valores do mercado, é dada uma estimativa de custos para poços de profundidade moderada (500 m) e de grande profundidade (1.000 m).

Os valores indicam apenas a ordem de grandeza. Evidentemente, para cada caso, os custos reais poderão ser menores, em função da concorrência entre empresas de perfuração.

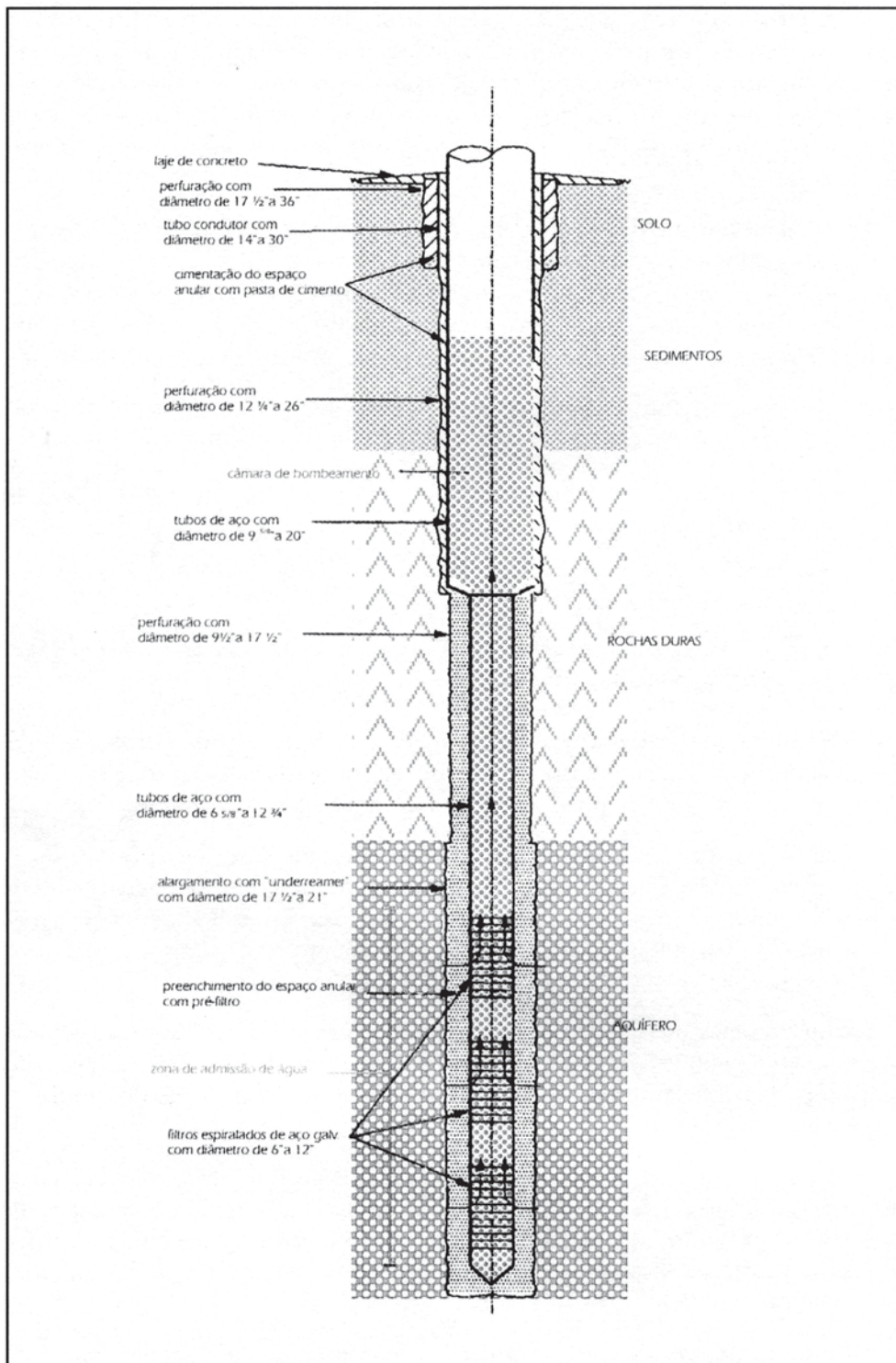


Figura 3:
Projeto típico de poço profundo (cortesia CONTEP)

Quadro 2
Estimativa de custos para poços de moderada e grande profundidades

Item	Diâmetro (polegadas)	Faixa de Profundidade (m)	Custo (US\$ 1.000)
Tipo I: média profundidade			
Câmara de bombeamento	14	150	145
Perfuração em basalto	12 ¹ / ₄	150-300	145
Perfuração no Aquífero/ Revestimento e filtros	171 ¹ / ₂ 8	300-500	225
Total		500	505
Tipo II: grande profundidade			
Câmara de bombeamento	20	200	226
Perfuração em basalto	171 ¹ / ₂	200-800	840
Perfuração no Aquífero/ Revestimento e filtros	171 ¹ / ₂ 10	800-1.000	320
Total		1.000	1.386

Fonte: adaptado de CONTEP, 1996.

Proteção

Por desconhecimento ou desinformação, em geral as pessoas tendem a negligenciar – porque não vêem – o que se passa abaixo do solo. No caso do Aquífero Guarani, administradores públicos e usuários das águas precisam ser advertidos sobre os perigos de contaminação irreversível das águas, se não houver critério no uso de produtos químicos, cuidado com rejeitos industriais e agrotóxicos lançados no solo. O Aquífero encontra-se protegido em quase toda a área de ocorrência graças ao tamponamento das espessas lavas de basalto praticamente impermeáveis; as faixas de afloramento e áreas adjacentes, entretanto, são regiões de infiltração natural das águas, com elevada vulnerabilidade à poluição. O controle das fontes de poluição aí existentes é um imperativo para que o reservatório Aquífero inteiro seja utilizado ao longo das gerações.

Nas áreas de afloramento existem várias cidades e pólos agroindustriais cujos refugos do metabolismo urbano e rural são lançados no solo e nos cursos de águas superficiais. Trata-se, então, de estabelecer restrições à utilização de produtos químicos tóxicos e persistentes e às atividades agrícolas que dependam da aplicação de grandes quantidades de fertilizantes e praguicidas em terrenos altamente vulneráveis à poluição.

Em São Paulo, uma legislação específica de águas subterrâneas estabelece três categorias de restrição:

- área de proteção máxima, em zonas de recarga onde as águas sejam essenciais ao abastecimento público, com proibição de instalação de indústrias de grande impacto ambiental;
- área de restrição e controle, em zonas de recarga já urbanizadas, com disciplina das extrações, controle rigoroso das fontes poluidoras e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras;
- perímetro de proteção sanitária de poço.

Torna-se necessário, portanto, proceder à identificação e mapeamento das áreas potencialmente críticas quanto aos riscos de contaminação do Aquífero. Metodologia de avaliação expedita dessas áreas foi desenvolvida pela Organização Panamericana da Saúde e aplicada ao território de São Paulo (1993); em vista dos resultados alcançados, os procedimentos podem ser estendidos a toda a franja de afloramento do Aquífero.

As estratégias técnicas e legais de proteção do Aquífero em cada área urbanizada dependem, em última instância, do empenho e da vontade política dos administradores estaduais e municipais para colocar em prática os mecanismos recomendados.

Nas cidades situadas na faixa de recarga, tais mecanismos de proteção do Aquífero devem ser matéria obrigatória do plano diretor municipal.

Usos da água

As águas subterrâneas do Aquífero Guarani, por suas condições de ocorrência e padrão de qualidade, devem ser consideradas um recurso nobre. Embora possam ser utilizadas para os mais diversos fins, é necessário, numa perspectiva de futuro, indicar usos preferenciais compatíveis com a exploração racional do Aquífero.

O *abastecimento das populações* é (e tende a ser) o principal uso. Hoje em dia, numerosas cidades de médio e grande porte são abastecidas total ou parcialmente por água subterrânea. No quadro 3 são listadas, a título de exemplo, algumas cidades do estado de São Paulo que se utilizam do manancial, com destaque para Ribeirão Preto (460 mil habitantes).

Este uso preferencial decorre das vantagens comparativas com relação as águas superficiais, entre elas a qualidade natural da água e maior proteção frente aos agentes contaminantes; a quantidade de água assegurada ao longo do tempo, sem variação por causas climáticas; a flexibilidade de escalonamento das obras (poços) com a evolução da demanda por água; a maior economicidade dos sistemas de abastecimento na maioria dos casos.

Quadro 3
Cidades representativas, abastecidas pelo Aquífero Guarani, em São Paulo

Cidade	População (hab)	nº de poços	Profundidade (m)	Vazão (m³/h)	Temperatura (°C)
Araraquara*	170.000	10	250-400	80-360	25
Bauru	280.000	7	180-470	220-400	27
Jales	45.000	2	1200-1300	500-530	51
Jaú	98.000	3	530-550	140-230	26
Lins	60.000	2	1.023	600	40
Marília*	170.000	2	1.007-1200	200-300	41
Monte Alto	42.000	2	660-708	180-200	37
Ribeirão Preto	460.000	83	150-300	60-350	25
Sertãozinho	86.000	3	306-340	180-250	24,5
S.J.do Rio Preto*	300.000	3	1.080-1380	500-700	45-51

*Abastecimento conjugado com poços rasos ou com água superficial.

Fontes: SABESP, SP; DAERP, Ribeirão Preto, SP.

Em segundo lugar, está o *uso industrial*. Unidades e pólos industriais cujos processos requeiram água de boa qualidade (alimentos, têxteis, cervejarias entre outros) podem ser abastecidos pelo Aquífero. Novas indústrias que tiverem a água como insumo básico podem ser projetadas em locais de múltipla escolha na região.

O uso do Aquífero para *irrigação* apresenta duas restrições: tendo em vista que a irrigação consome, em geral, grandes volumes de água, deve-se evitar o seu uso em culturas de grande extensão; nas áreas onde o Aquífero ocorre em grande profundidade, as águas são inadequadas para irrigação (teores elevados de salinidade e sódio). Afora tais condicionantes, o Aquífero, em boa parte de sua área de ocorrência, pode ser utilizado em irrigação seletiva, especialmente em culturas muito sensíveis às variações climáticas (geadas). Nos últimos anos, graças à limpidez e à temperatura da água, várias estruturas de *recreação e lazer* têm sido implantadas, com perfuração de poços profundos para tal fim. São balneários situados em cidades ou clubes de campo, distantes de praias ou rios limpos. Exemplos recentes são os de Araçatuba-SP (969 m, 49°C); Francisco Beltrão-PR (1.470 m, 49°C) e Salto-Uruguay (1.295 m, 48°C).

Por fim, há uso potencial ainda inexplorado na região: a *calefação* de residências e de outros ambientes, que poderiam aproveitar a temperatura da água. Em vários países de clima frio existem pequenas cidades, condomínios, prédios públicos e estabelecimentos de comércio cuja calefação é feita por meio de água subterrânea de temperatura moderada, com vantagens econômicas e ambientais sobre os sistemas tradicionais que utilizam energia elétrica ou combustíveis. Na região meridional de ocorrência do Aquífero, a partir do estado do Paraná, há colônias, estâncias climáticas e pequenas cidades turísticas onde poderiam ser implantados tais sistemas de calefação, em combinação com o abastecimento doméstico de água.

Programas e projetos

A avaliação geral do atual estágio de conhecimento e exploração do Aquífero indica a necessidade de ampla articulação e conjunção de esforços para superar as deficiências existentes e colocar em primeiro plano a valorização de recursos hídricos estratégicos para o futuro da região do Cone Sul. No quadro 4 são resumidas, sob a forma de programas e projetos, as linhas básicas de ação que podem constituir a política de desenvolvimento das águas subterrâneas.

Quadro 4
Projetos de desenvolvimento do Aquífero Guarani, no Cone Sul

Programa	Projeto
Pesquisa básica	1. Mapa hidrogeológico do Aquífero Guarani, em escala 1:1.000.000. Inventário e integração de dados. 2. Identificação das áreas e mecanismos de descarga do Aquífero. (Sensoriamento remoto, hidroquímica e piezometria, em associação com a geologia estrutural e tectônica regional). 3. Elaboração de um modelo hidrogeológico de simulação de balanço hídrico.
Desenvolvimento econômico	4. Usos de águas geotermiais de baixa temperatura adequados à região. 5. Manual de tecnologia de poços profundos.
Defesa contra a poluição	6. Identificação e caracterização das áreas potencialmente críticas, sujeitas à poluição, junto às faixas de recarga. Diretrizes locais e legislação municipal de proteção do Aquífero. 7. Pesquisa e zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de teores excessivos de fluor ("contaminação" natural).
Difusão de informações	8. Implantação de banco de dados de poços e de um serviço de informações aos usuários. 9. Elaboração de folhetos sobre as vantagens comparativas de utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Tais linhas de ação abrangem a pesquisa básica, a ampliação e diversificação dos usos da água, a defesa contra a poluição e a difusão pública de informações. No conjunto são indicados nove projetos de alcance abrangente, cuja materialização representa o desafio que está posto para universidades, grupos técnicos especializados, governantes e organizações não-governamentais.

A execução das diretrizes e dos projetos requer, como primeiro passo, uma coordenação geral que promova reuniões regionais congregando os centros universitários, as empresas de saneamento, as empresas de poços, os segmentos de usuários das águas e as instituições de governo. Tais encontros, de um lado, visam a integração e a discussão de projetos específicos; de outro, são parte de um processo de organização dos segmentos sociais interessados que, aos poucos, irão assumir a gestão dos recursos hídricos de forma democrática e participativa.

Estratégia de gestão compartilhada

Marco institucional

No Brasil, o esqueleto institucional de administração dos recursos hídricos é marcado por disfunções e distorções históricas:

- relativa atenção às águas superficiais e desatenção às águas subterrâneas, ignorando a unicidade do ciclo hidrológico;
- segmentação utilitarista dos usos das águas, de acordo com interesses setoriais, dificultando a compatibilização dos usos múltiplos;
- profusão de órgãos públicos federais, estaduais e municipais, atuando de forma descoordenada. No tocante à legislação, somente o estado de São Paulo dispõe de lei e regulamento específico sobre águas subterrâneas (um projeto de lei federal tramita há mais de 10 anos no Congresso Nacional).

A partir da segunda metade da década de 80 – como parte do tortuoso caminho de democratização da sociedade – os problemas e conflitos ligados à má administração e à poluição das águas passam a ser mais discutidos por entidades e organizações não-governamentais. Os aspectos políticos, legais e institucionais ganham nova dimensão tanto na Constituição Federal (1988) quanto nas constituições estaduais (1989). Em vários estados são criados, por lei, sistemas de gerenciamento de recursos hídricos a partir de *comitês de bacias hidrográficas*. Esses comitês são foros democráticos constituídos por representantes dos órgãos do governo estadual, dos municípios e da sociedade civil (compreendendo segmentos de usuários e entidades não-governamentais) para a gestão dos recursos hídricos (em São Paulo, por exemplo, até dezembro/1996 já tinham sido implantados 18 comitês de bacia).

No âmbito dos quatro países envolvidos – guardadas as respectivas peculiaridades sociais e culturais – é provável que as disfunções e distorções apontadas sejam similares. No quadro 5 é resumido o perfil institucional dos distintos níveis de governo ligados à administração dos recursos hídricos, com possível ou eventual atuação sobre as águas subterrâneas. Uma iniciativa de gestão compartilhada do manancial teria que cuidar de estabelecer o diálogo e o enlace dos organismos indicados, com vistas a objetivos comuns entre os países. Todavia, as iniciativas precursoras de entendimento são de natureza política e devem ser remetidas aos governos centrais (ministérios de relações exteriores) dos países membros.

Uma das primeiras iniciativas de cooperação entre os países do Cone Sul para o aproveitamento dos recursos hídricos ocorreu há quase 30 anos, na reunião realizada em Buenos Aires, em 27 de fevereiro de 1967, com os ministros das Relações Exteriores da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai. Nessa reunião eles declararam ser “decisão de seus governos levar a cabo o estudo conjunto e integral da Bacia do Prata, com vistas a realização de um programa de obras multinacionais, bilaterais e nacionais úteis ao programa da região”. Para tanto, foi criado um Comitê Intergovernamental Coordenador e Comissões Nacionais das Bacias do Prata nos cinco países. Em suporte a tal iniciativa, a Organização dos Estados Americanos realizou, entre 1967 e 1968, um Inventário de Dados Hidrológicos e Climatológicos da Bacia do Prata (OEA, 1989). O *Tratado da Bacia do Prata*, firmado no ano de 1969, em Brasília, e o Regulamento da Reunião de Chanceleres estabeleceram o arranjo institucional da cooperação: a Reunião de Chanceleres, como órgão supremo; o Comitê Intergovernamental Coordenador, com a função de centralizar o intercâmbio das informações pertinentes; e Comissões de apoio, entre elas a de recursos naturais e infra-estrutura física. Posteriormente, em decorrência da Reunião de Chanceleres, foram aprovados dois programas: *Alerta Hidrológico na Bacia do Prata* e *Avaliação da Qualidade das Águas dos Rios da Bacia do Prata*.

O Tratado da Bacia do Prata teve, em sua origem, uma motivação especial: a busca de entendimento para um vigoroso projeto de utilização das águas superficiais na construção de hidrelétricas. Essa política de aproveitamento dos recursos hídricos dos rios – sem cuidar dos usos múltiplos das águas e da interconexão entre águas superficiais e subterrâneas – foi posta em prática nos anos 70, com litígio e seqüelas nas relações Brasil-Argentina, os dois principais países interessados.

No início dos anos 90 os entendimentos regionais evoluíram para um novo patamar de cooperação: a busca do crescimento econômico, com base na contigüidade geográfica e em pressupostos ideológicos com valores políticos e morais compartilhados (Seitenfus, 1992). O *Tratado de Assunção*, celebrado em março de 1991, incorporou quatro dos cinco países da bacia (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai) no Mercosul, cuja estrutura é constituída pelos seguintes órgãos: Conselho do Mercado Comum (CMC), formado pelos Ministros das Relações Exteriores e da Economia; Grupo Mercado Comum (GMC), órgão executivo formado por representantes daqueles ministérios e do Banco Central; Comissão de Comércio do Mercosul (CCM); Comissão Parlamentar Conjunta (CPC); Foro Consultivo Econômico Social (FCES); Secretaria Administrativa do Mercosul (SAM).

A estrutura do Mercosul é a de um sistema de cooperação entre Estados, sem organismos supranacionais; o modelo funciona à base da negociação política e do consenso, sempre mantendo a autonomia dos parceiros. “O diferenciador do Mercosul é estar baseado em estreita cooperação intergovernamental. Difere nesse ponto das Comunidades Européias, que desde a sua origem confiaram problemas políticos importantes a instituições independentes dos governos” (Baptista, 1996). Neste novo quadro institucional, a possibilidade de inserção de um programa de aproveitamento econômico dos recursos hídricos do Aquífero Guarani não conta,

aparentemente, com um mecanismo adequado (não há uma gaveta para tal assunto). Todavia, o modelo de cooperação é suficientemente aberto e flexível para abrigar um programa que resulte da vontade comum na região.

Quadro 5
Perfil institucional da administração dos recursos hídricos na Bacia do Paraná,
com incidência sobre águas subterrâneas.

País	Outorga de uso	Gestão	Meio Ambiente
BRASIL			
União	Departamento Nacional da Produção Mineral	Lei Federal	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Estados	Departamento de Águas (São Paulo: Lei 6.134/88)	Conselho Estadual/ Comitês de Bacia (São Paulo e Rio Grande do Sul)	Secretarias Estaduais de Meio Ambiente Conselhos Estaduais
ARGENTINA			
União	Dirección Nacional de Recursos Hídricos (Buenos Aires)		Consejo Federal de Vivienda y Medio Ambiente
Províncias	Governos Províncias	Juntas Interprovinciais	
PARAGUAI			
União	MPOC - Dirección de Recursos Hídricos		Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales
Províncias	Departamento de Águas para el Chaco		
URUGUAI			
União	MTOP - Dirección Nacional de Hidrografia		Consejo Nacional de Medio Ambiente e Oficina de Planeamiento e Presupuesto
Províncias		Juntas regionales de irrigación	

Fonte: Cepal, 1995: *Guía sobre la Administración de los Recursos Hídricos en los Países de América Latina y el Caribe*.

Arranjo organizativo

A inserção de um programa regional de desenvolvimento e gestão do reservatório de águas subterrâneas do Cone Sul no âmbito do Tratado de Assunção é, aparentemente, a via mais promissora para a qual podem confluir as iniciativas nacionais que estão ocorrendo.

Uma vez indicados os objetivos e os projetos de abrangência regional do Programa, é fundamental conceber um esquema organizacional que, aos poucos, promova o enlace e a participação de todos os organismos e entidades interessadas. Para tanto, é importante fixar algumas premissas:

- a articulação político-institucional dos países membros, para esse fim, seguirá os ritos usuais adotados no âmbito do Mercosul, sem qualquer ingerência nas instituições e leis de cada país atinentes à matéria;
- os mecanismos organizacionais propostos devem se harmonizar com os sistemas legais de gestão dos recursos hídricos, em âmbito federal e estadual (ou provincial) de cada país, visando, sobretudo, à mútua cooperação tecnológica;
- os colegiados a serem criados contarão sempre com organizações não governamentais;
- as decisões sobre planos, programas e projetos específicos, assim como sobre a aplicação de recursos financeiros, serão tomadas sempre por consenso nos respectivos colegiados.

O modelo organizacional proposto (figura 4) é constituído por uma *Coordenadoria Internacional*, vinculada a uma das instâncias do Mercosul, integrada por três representantes de cada país; *Comitês estaduais* (ou *provinciais*), instituídos de forma paritária, com representação de administração pública (1/3); universidades e institutos de pesquisa (1/3); organizações civis (1/3).

Os comitês estaduais (ou provinciais) são a base do sistema organizativo. Podem ter número variável de componentes, dependendo das condições de cada estado ou província, mas devem assegurar a composição paritária dos três segmentos de modo a propiciar a efetiva participação dos interessados.

Um *grupo executivo*, indicado de comum acordo com os dois níveis de organização, fará o acompanhamento do plano de trabalho definido pelos colegiados.

As funções dos dois níveis de organização (internacional e estadual) estão esboçadas na figura 5.

No âmbito estadual (provincial), o comitê aprova o plano de trabalho, estabelece prioridades e diretrizes de desenvolvimento do manancial e coordena os mecanismos de financiamento.

O foro internacional representa a integração dessas funções em toda a região.

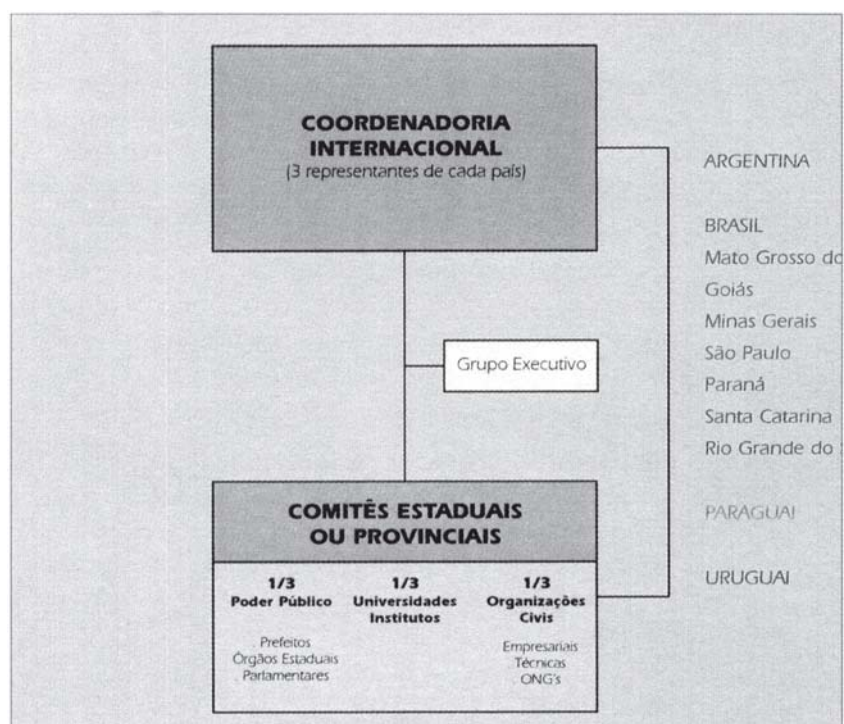


Figura 4:
Modelo organizacional de gestão de águas subterrâneas do reservatório Guarani

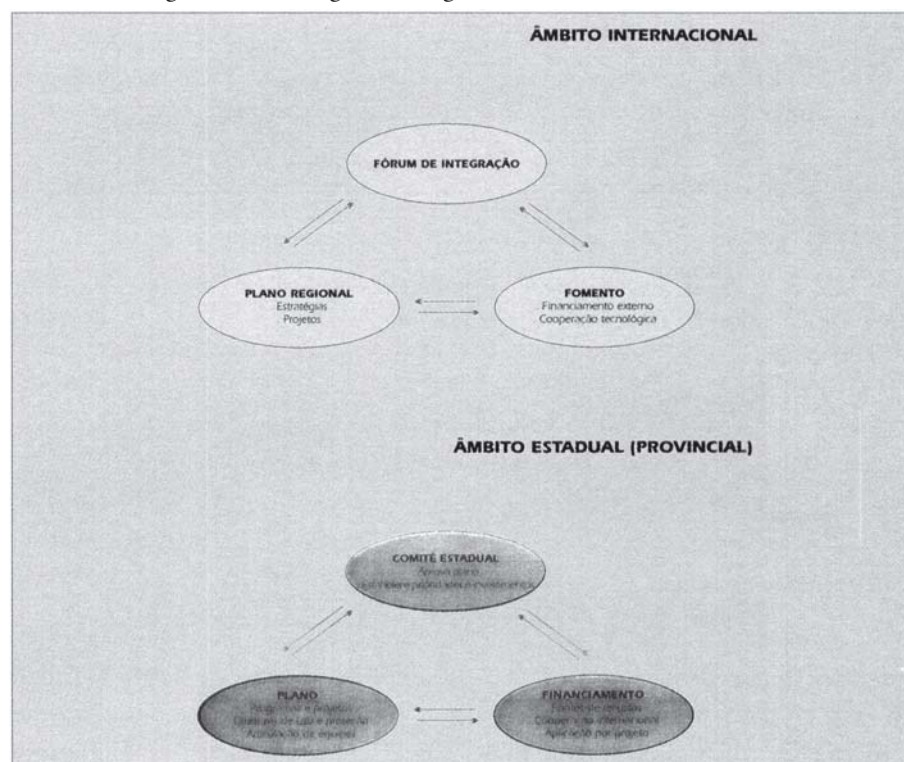


Figura 5:
Modelo funcional de gerenciamento de águas subterrâneas do reservatório Guarani

Recomendações

- A organização de um esquema de gestão semelhante ao proposto representa um *processo*, geralmente demorado, de envolvimento e aglutinação dos atores potencialmente interessados; não pode, portanto, ser instituído de maneira burocrática e vertical, sob pena de ficar no papel.
- Num primeiro momento, a busca de integração dos principais interessados, por meio de amplas reuniões em cada país, é o passo fundamental para o sucesso da proposta. Sob esse aspecto, o papel das universidades e institutos de pesquisa é muito importante porque, em tese, podem mobilizar rapidamente equipes e infra-estrutura para os projetos de interesse comum, vinculando-os aos programas de pós-graduação.
- O projeto de desenvolvimento regional do grande manancial do Cone Sul representa um desafio de natureza política: trata-se de convencer dirigentes públicos, despertar o interesse das organizações civis e superar a inércia das instituições ligadas ao setor. Isto requer que os grupos precursores superem, eles próprios, a abordagem exclusivamente setorial ou corporativista da questão.

Notas

- 1 A denominação *Aqüífero Guaraní* é do geólogo uruguaio Danilo Anton, em memória do povo indígena da região.
- 2 Nos anos 50 Fernando de Almeida realizou um notável trabalho de reconstituição do deserto Botucatu, que é um marco na literatura geológica.
- 3 A sistematização do conhecimento atual sobre a estrutura da bacia sedimentar do Paraná foi feita principalmente pelos pesquisadores da Petrobrás (Zalán *et al.*, 1991).
- 4 Aldo Rebouças (1976) fez a primeira caracterização regional do manancial no território brasileiro, a partir dos trabalhos desenvolvidos pelo DAEE em São Paulo.
- 5 As estimativas de reservas e recursos hídricos foram feitas mediante revisão dos parâmetros adotados por Rebouças (1976) e considerando toda a área de ocorrência do manancial.
- 6 Rosa Beatriz Gouveia da Silva (1983) foi pioneira na sistematização do conhecimento das características químicas das águas e de sua variação regional.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, Fernando F. M. Botucatu: a Triassic desert of South America. In: CONG. GEOL. INTERNATIONAL, 1952 *Comptes Rendus de 19^e Session, Section VII - Déserts Actuels et Anciens*, Argélia, 1953, p. 9-24.
- ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. *Aqüífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu,*

- Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó*. Curitiba, Petrobrás/UFPR, 1995. 16p. [mapas].
- ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. *Coletânea da Legislação e Regulação sobre o uso e preservação das águas subterrâneas no estado de São Paulo*. São Paulo, Caderno Técnico n. 2, 1992. 66p.
- BAPTISTA, Luiz Olavo. O Mercosul após o Protocolo de Ouro Preto. In: *Revista Estudos Avançados*, v. 10, n. 27, p. 179-199, 1996.
- CAMPOS, Heraldo C.N.S. *Caracterização e cartografia das províncias hidrogeológicas do estado de São Paulo*. São Paulo, 1993, 177 p. Tese (doutorado), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, L.A. & COIMBRA, A.M. A bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 68, n. 2, p. 195-205, 1996.
- FRAGA, C.J. & LISBOA, A.A. A origem do flúor nas águas subterrâneas da bacia do Paraná: análise introdutória. In: CONGR. BRAS. DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6, Porto Alegre, 1990. *Anais*, São Paulo. ABAS, p. 98-106.
- OEA - Organização dos Estados Americanos, Secretaria Geral. *Bacia do rio da Prata: estudo para sua planificação e desenvolvimento. Inventário de dados hidrológicos e climatológicos*, 2 v., 1969 [mapas].
- ONU - Organização das Nações Unidas. Space and process heating. In: UNITED NATIONS SYMPOSIUM OF GEOTHERMAL RESOURCES, 2, *Proceedings*, San Francisco, California, 20-29 May 1975; v. 3, section IX, p. 2077-2181, Washington, D.C., USA, 1976.
- ONU - Cepal. *Guía sobre la administración de los recursos hídricos en los países de América Latina y el Caribe LC/G. 1875*. Santiago, 1995. 94p.
- PERRONI, Júlio Cesar A.; SILVA, Rosa Beatriz G.; HIRATA, Ricardo C.A. & DOZZI, Lúcia F.S. Ocorrências de fluoreto nos aquíferos da bacia do Paraná no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5, São Paulo, 1985, *Anais*, São Paulo, SBG/SP, v. 2, p. 503-514.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha. *Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná: Análise de pré-viabilidade*. São Paulo, 1976. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 143 p.
- _____. Sistema aquífero Botucatu no Brasil. 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ABAS, Recife, 1994, p. 500-509.
- SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. *Estudo de águas subterrâneas, Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto*, 4 v. São Paulo, 1974 [Atlas].
- _____. *Estudo de águas subterrâneas, Regiões Administrativas 7, 8, 9, Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba*, 3 v. São Paulo, 1976 [Atlas].
- _____. *Estudo de águas subterrâneas, Regiões Administrativas 10 e 11, Presidente Prudente e Marília*, 3 v. São Paulo, 1979 [Atlas].
- _____. *Estudo de águas subterrâneas, Região Administrativa 5, Campinas*, 2 v. São Paulo, 1981 [Atlas].

- _____. *Estudo de águas subterrâneas, Região Administrativa 4, Sorocaba.*, 2 v. São Paulo, 1982 [Atlas].
- SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo*, 2 v. São Paulo, IG/CETESB-DAEE, 1993 [no prelo].
- SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. *Legislação sobre recursos hídricos*. São Paulo, DAEE, 1994. 72 p.
- SEITENFUS, Ricardo. Considerações sobre o Mercosul. In: Revista *Estudos Avançados*, v. 6, n. 16, p. 117-31, 1994.
- SILVA, Rosa Beatriz G. *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no estado de São Paulo*. São Paulo, 1983. Tese (doutorado), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 133 p.
- TUNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C. & MANTOVANI, M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, n. 124, p. 333-348.
- ZALÁN, Pedro V.; WOLFF, Sven; CONCEIÇÃO, João. C.J.; ASTOLFI, A.M.; VIEIRA, Inês S.; APPI, Valéria T.; ZANOTTO, Osmar & MARQUES, Airton. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. Papers presented at THE SEVENTH INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, São Paulo, 1988. *Proceedings*, H. Ulbrich & A.C. Rocha-Campos (ed.), IGUSP, 1991, p. 83-117.

RESUMO – O Cone Sul abriga um manancial de águas subterrâneas de extensão continental, denominado Aquífero Guarani, cujo volume de água doce disponível é suficiente para abastecer permanentemente os 15 milhões de habitantes de sua região de ocorrência. Neste trabalho é feita uma descrição sumária do reservatório. São estabelecidas bases para o aproveitamento dos recursos hídricos e propostos mecanismos e arranjos institucionais, em âmbito internacional, com vistas a iniciar um processo participativo de gestão do manancial.

ABSTRACT – The South Cone bears a groundwater source of continental extent called Guarani Aquifer, in which the volume of freshwater available is sufficient to supply the 15 million inhabitants of the region. The present paper gives a briefing on this reservoir, establishes the basis for the good use of the water resources, as well as proposes institutional means and arrangements at international level with a view to initiating a joint process to manage the source.

Gerônimo Albuquerque Rocha é geólogo, funcionário do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), São Paulo.

O texto foi apresentado pelo autor no seminário internacional *Aquífero Gigante do Mercosul*, promovido pela Universidade Federal do Paraná e realizado em Curitiba, nos dias 23 e 24 de maio de 1996. O autor contou com a inestimável ajuda dos colegas Ernani Francisco da Rosa Filho (convite e incentivo); Cláudio Riccomini (indicações de leitura e revisão do original); José Albuquerque Filho; Walter Galdeano Gonçalves, Mário Nascimento Souza Filho, João Carlos Simanke de Souza, José Laércio Sanches e José Eduardo Campos (dados e informações de poços); Maria Dulce de Sousa (digitação); Ana Elena Salvi (ilustrações); Maria Rosa Sartori Brandão (resumo em inglês).